



М. І. Коростіль, І. І. Лагун

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ RPA ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Проаналізовано основні концепції та технології автоматизації процесів із застосуванням роботизації (англ. *Robotic Process Automation*, RPA) та визначено перспективи застосування RPA у системах інтернету речей (англ. *Internet of Things*, IoT). Встановлено, що стрімкий розвиток інтернету речей потребує чітких протоколів та підходів для виконання частини процесів в автоматичному режимі з мінімізацією залучення до цього людини. Проаналізовано основні процеси типових систем інтернету речей, встановлено відповідність цих процесів та архітектурних рівнів IoT систем. Визначено, що роботизована автоматизація процесів дає змогу істотно пришвидшити імплементацію рішень для автоматичного управління процесами збирання, управління та оброблення даних у системах інтернету речей. З'ясовано, що окремої уваги вимагає вирішення проблеми автоматизації процесів конфігурації пристроїв та оновлення програмного забезпечення, запуску діагностичних процедур та моніторингу пристроїв інтернету речей, оскільки саме від коректної роботи фізичних пристроїв IoT залежить належне функціонування цілої системи. Проаналізовано основні завдання, які можна вирішити за допомогою роботизованої автоматизації процесів у системах інтернету речей та визначено такі основні напрями, як: збір та оброблення даних, моніторинг та управління обладнанням, автоматизація рутинних операцій, оптимізація енергоспоживання, автоматизоване оброблення відхилень та помилок, інтеграція та обмін даними, аналітика та звітність, забезпечення безпеки та контролю мережі інтернету речей. Наведено приклади використання RPA в системах інтернету речей, які охоплюють такі сфери, як бізнес-аналітика, управління IoT-пристроями та підтримка програмних продуктів. Здійснено аналіз основних переваг і недоліків використання роботизованої автоматизації процесів в IoT та встановлено, що основними перевагами використання засобів RPA є виконання процесів у режимі реального часу та удосконалення керованості процесами, а основними недоліками – потреба використання стандартизованих процесів та інтерфейсів та стабільне з'єднання з мережею, що є частими проблемами систем IoT. Визначено та окреслено подальші дослідження з автоматизації розгортання інфраструктури, попереднього оброблення даних від кінцевих пристроїв на рівні капілярної мережі та тестування інфраструктури в промисловому інтернеті речей.

Ключові слова: автоматизація; процеси; інтернет речей; промисловий інтернет речей; роботизовані системи автоматизації; RPA; IoT; системи інтернету речей.

Вступ / Introduction

Упродовж останнього десятиліття багато промислових підприємств і бізнес-компаній зазнали істотного впливу від нової хвилі технологічних інновацій, яку визначають як четверта промислова революція (англ. *The Fourth Industrial Revolution*) або Промисловість 4.0 (англ. *Industry 4.0*). В основі такої трансформації лежать нові цифрові технології, які дають компаніям змогу підвищити свою гнучкість, продуктивність і як наслідок – ефективність виробництва чи бізнес-процесів і конкурентоспроможність. Індустрія 4.0 складається з багатьох інновацій, серед яких інтернет речей (англ. *Internet of Things*, IoT) та роботизація бізнес-процесів (англ. *Robotic Process Automation*, RPA) – дві сучасні технології, які можуть взаємодіяти між собою для автоматизації та оптимізації різних сфер промисловості та бізнесу.

Інтернет речей (англ. *Internet of Things*, IoT) – це тех-

нологія, яка забезпечує автоматизацію апаратних пристроїв і аналіз даних різних фізичних компонентів, таких як температура, вологість тощо, за допомогою датчиків, виконавчих механізмів і керування як апаратним, так і хмарним програмним забезпеченням.

Роботизована автоматизація процесів (RPA) – це технологія, яка використовується для автоматизації завдань за допомогою програмного робота. Більшість реалізацій RPA є в банківському та фінансовому секторах, введенні та аналізі даних. Впровадження RPA дає змогу зменшити або усунути повторювані ручні рутинні операції, а також забезпечує оптимізацію процесів, виконання завдань у надзвичайно швидкому темпі, щоб усунути людські помилки та підвищити ефективність та економію коштів.

Поєднання RPA та IoT дасть змогу компаніям і підприємствам створити комплексну систему для оброб-

Інформація про авторів:

Коростіль Максим Ігорович, аспірант, кафедра комп'ютеризованих систем автоматизації. Email: maksym.i.korostil@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0004-4958-2483>

Лагун Ілона Ігорівна, канд. техн. наук, ст. викладач, кафедра комп'ютеризованих систем автоматизації. Email: ilona.i.lahun@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5497-384X>

Цитування за ДСТУ: Коростіль М. І., Лагун І. І. Аналіз ефективності використання технології RPA для автоматизації процесів в системах інтернету речей. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 4. С. 95–101.

Citation APA: Korostil, M. I., & Lahun, I. I. (2023). Analysis of the efficiency of using rpa technology for automation of processes in internet of things systems. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(4), 95–101. <https://doi.org/10.36930/40330414>

лення та аналізу даних у режимі реального часу, забезпечити контроль над важливими операціями, розробити автоматизовані рішення для керування виробничими та бізнес-процесами.

Це завдання набуває особливого значення через поширення технологій інтернету речей як у виробництві (промисловий інтернет речей), так і у побуті (споживачський інтернет речей). Важливими функціями цієї концепції є полегшення повсякденного життя, підвищення ефективності та якості роботи, енергоефективності тощо. Сучасна концепція інтернету речей передбачає комунікацію об'єктів, які використовують технології для взаємодії між собою та з навколишнім середовищем, що дає змогу пристроям виконувати певні дії без втручання людини [10].

Проте масове поширення пристроїв інтернету речей потребує особливої уваги до безпеки розроблених рішень, можливості їх віддаленої діагностики, оновлення встановленого програмного забезпечення, автоматизації процесів налаштування пристроїв відповідно до вимог клієнтів. Відсутність чітких протоколів і підходів до розв'язання цих задач та виконання багатьох дій у ручному режимі призводить до великої кількості помилок внаслідок "людського фактору" та здорожчання цих рішень для остаточного споживача. Для уникнення таких ситуацій потрібно провести класифікувати наявні процеси у сфері інтернету речей, виокремити найважливіші з них і описати підходи для їх виконання в автоматичному режимі з мінімізацією залучення до цього людини [7].

Тому розроблення наукового підходу до автоматизації процесів у системах інтернету речей із залученням технології RPA є актуальним завданням.

Об'єкт дослідження – використання технології RPA у системах інтернету речей.

Предмет дослідження – методи оцінювання ефективності такого використання з огляду на різні аспекти продуктивності, економічної доцільності, якості обслуговування та інших факторів.

Мета роботи – проаналізувати ефективність використання технології RPA для реалізації завдань автоматизації процесів у системах інтернету речей.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*:

- 1) проаналізувати концепції та технології автоматизації процесів із застосуванням роботизації та визначити перспективи застосування RPA у системах інтернету речей;
- 2) обґрунтувати переваги та недоліки використання роботизованої автоматизації процесів в IoT;
- 3) проаналізувати задачі автоматизації, які можна вирішити за допомогою RPA в системах інтернету речей та визначити основні напрями такої інтеграції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оскільки інтеграція технології RPA в системи інтернету речей тільки набуває розвитку, то на сьогодні кількість наукових робіт і досліджень у відкритому доступі є незначною. Однак останніми роками активно досліджують як технологію RPA, так і системи інтернету речей. Сучасні тематичні дослідження технології RPA подано в роботах [2, 6], в яких висвітлено питання автоматизації бізнес-процесів низької та середньої складності та високої повторюваності, визначено переваги такої автоматизації з погляду зниження витрат, підвищення ефективності процесу та значного зменшення кількості завдань в

процесі. У роботі [11] розглянуто десять прикладів інтеграції технології RPA різними компаніями у таких сферах, як телекомунікації, страхування, фінанси, банківська справа, державний сектор, виробництво безалкогольних напоїв та державне управління. Встановлено, що не всі процеси придатні для автоматизації. Тому для вибору процесу автоматизації, визначено кілька загальних критеріїв, а саме великий обсяг завдань, завдання на підставі правил, завдання/процес низької складності, стандартизований процес і зрілий процес.

Дослідження можливості автоматизації процесу розгортання програм IoT з використанням хмарного стандарту подано в роботі [8]. У роботах [5, 9] наведено концепцію промислового інтернету речей (англ. *Industrial Internet of Things*, IIoT), яка має кращі можливості операційної ефективності у виробничому процесі, механізми ідентифікації розумних об'єктів, можливості інтелектуальної автоматизації та цілодобового моніторингу. Подано відповідні дослідження деяких областей застосування IIoT, а також опис концепції інтелектуального виробництва, основних викликів IoT та Industry 4.0 та відкриті дослідницькі питання. У роботі [3] висвітлено проблему автоматизації процесу оброблення великого обсягу даних IoT на хмарних об'єктах. Розглянуто туман як допоміжний рівень оброблення даних, роботу з децентралізованими пристроями в IoT і шарі туману та інші автоматичні механізми для роботи з великими даними та завданнями в реальному часі в екосистемі IoT – Fog – Cloud.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Основні концепції та технології RPA. Автоматизація робочих процесів із застосуванням роботизації (RPA) є своєрідною надбудовою над стандартними засобами автоматизації та використовує програмне забезпечення, що повторює дії користувача, взаємодіючи з додатками на комп'ютері і виконуючи завдання на підставі наявних правил і логіки. Основними концепціями та технологіями, що використовуються засобами RPA, є такі [16]:

Роботи-процеси. Програмні агенти, які можуть автоматизувати виконання рутинних завдань, виконувати інтерактивні дії та комунікувати з різними системами та пристроями.

Запис та відтворення дій. Ця технологія дає змогу записувати послідовність дій користувача та відтворювати їх для автоматизації процесів. Вона дає змогу зафіксувати рутинні дії та автоматично повторити їх без потреби ручного втручання.

Інтелектуальні роботи-процеси. Ця концепція передбачає використання штучного інтелекту та машинного навчання для удосконалення здатностей роботів-процесів. Інтелектуальні роботи-процеси можуть виконувати складні завдання, розпізнавати образи, обробляти та генерувати природну мову, виконувати оптичне розпізнавання символів, "розуміти" документи та приймати рішення на підставі зібраних даних.

Цифрові працівники. Мова про віртуальних роботів-процесів, які можуть виконувати завдання, схожі на завдання, які виконує людина. Вони можуть працювати з даними, виконувати аналіз, взаємодіяти з користувачами та автоматизувати багато процесів.

Централізоване керування. Одним з ключових аспектів RPA є централізоване керування роботами-про-

цесами. Це означає, що роботи-процеси можуть бути керовані та контрольовані з єдиного центрального пункту. Це спрощує управління та моніторинг робочих процесів, а також забезпечує гнучкість та масштабованість системи.

Інтеграція з наявними системами. RPA може взаємодіяти з різними системами та додатками, враховуючи CRM-системи, ERP-системи, бази даних і інші системи через API, а також системи, у яких не передбачено програмних інтерфейсів взаємодії. Це дає змогу автоматизувати процеси, що охоплюють різні системи, та забезпечує безперервну роботоздатність та синхронізацію даних.

Моніторинг та аналітика. RPA дає змогу здійснювати моніторинг виконання роботів-процесів, збирати дані про продуктивність та ефективність процесів, аналізувати результати, виявляти проблеми та покращувати процеси для оптимізації та вдосконалення діяльності.

Безпека та захист даних. Оскільки RPA працює з великими обсягами даних і системами, безпека та їх захист є надзвичайно важливими аспектами. RPA повинно охоплювати шифрування, аутентифікацію, контроль доступу та інші заходи безпеки, щоб забезпечити конфіденційність і цілісність даних.

Скрипти та макроси. RPA може використовувати скрипти та макроси для автоматизації повторюваних дій та виконання завдань у встановлених шаблонах. Це дає змогу швидко створювати та виконувати задачі без потреби повного перепрограмування системи.

Гнучкість та можливість спеціального налаштування. RPA дає змогу налаштувати та конфігурувати роботи-процеси відповідно до потреб організації. Це означає, що процеси можуть бути адаптовані та змінені для підтримки нових вимог і правил. При цьому процес внесення змін матиме мінімальний вплив на функціонування цілої системи.

Інтеграція з інтернетом речей. RPA може бути поєднаним із системами інтернету речей для автоматизації процесів, що охоплюють збір та аналіз даних з під'єднаних пристроїв. Це відкриває можливості для оптимізації виробничих процесів, моніторингу стану обладнання та ефективного управління ресурсами.

У типових IoT-системах розрізняють такі основні процеси:

1. Встановлення з'єднання та надсилання даних. Загалом, враховуючи, що уже вибрано належний спосіб під'єднання, протоколи комунікації, спосіб живлення, на цьому етапі передбачається під'єднання пристрою до системи і налагодження автентифікації.
2. Управління пристроями та отримання, структурування, нормалізація, зберігання даних. Платформа IoT повинна підтримувати усі протоколи та інтерфейси обміну даними, залежно від пристроїв IoT, які передбачені для під'єднання. Структура даних, які буде отримувати платформа, змінюється, тому спочатку дані потрібно структурувати та нормалізувати. Проте не існує єдиного стандарту структури даних. Зазвичай тільки виробники пристроїв знають як їх оцінювати.
3. Аналіз та візуалізація даних. Залежно від призначення отриманих даних будуються рішення для їх оброблення і за потреби їх візуалізації. Накладання цих процесів на типову архітектуру системи IoT подано на рис. 1.

Позаяк автоматизація потенційно може торкнутись практично будь-якого рівня системи IoT, запропоновано автоматизувати процеси на рівні платформи системи IoT.

Розглянувши детальніше цей рівень структури системи IoT, можна виокремити такі підпроцеси:

1. Управління даними.
2. Управління пристроями та користувачами. Оновлення ПЗ та коригування конфігурацій.
3. Управління подіями та їх оброблення.

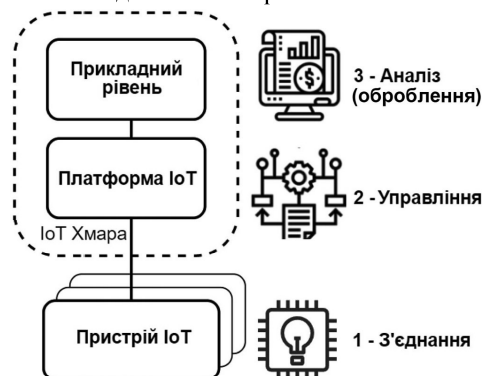


Рис. 1. Відповідність процесів й архітектурних рівнів системи IoT / Correspondence of processes and architectural levels of the IoT system

Спеціалісти галузі IoT акцентують увагу на підпроцесах управління пристроями IoT як важливному чиннику впливу на успішність підприємства, що використовує систему інтернет речей. Оскільки саме від коректної роботи фізичних пристроїв IoT залежить належне функціонування цілої системи, пропонуємо сфокусуватись на проблемах актуалізації конфігурації та ПЗ, запуску діагностичних процедур і моніторингу пристроїв IoT [7].

Загальноприйнятими є етапи життєвого циклу управління пристроями IoT:

- введення в інфраструктуру, додавання пристрою вперше;
- інтенсивне вдосконалення, тобто виправлення помилок ранніх версій ПЗ;
- обслуговування та підтримка, тобто виправлення помилок, пов'язаних з безпекою, та удосконалення стабільності ПЗ;
- виведення з експлуатації, тобто виведення пристрою із системи наприкінці його життєвого циклу, який зазвичай становить 5-10 років.

Відповідно, для забезпечення надійності усієї системи перед оператором стоять такі завдання:

- коректна конфігурація пристрою;
- налаштування та забезпечення процедури аутентифікації;
- запуск чергових діагностик;
- обслуговування пристроїв;
- моніторинг пристроїв.

Оскільки саме від коректної роботи фізичних пристроїв IoT залежить належне функціонування цілої системи, пропонуємо сфокусуватись на проблемах актуалізації конфігурації та ПЗ, запуску діагностичних процедур та моніторингу пристроїв IoT. Користь від автоматизації у цих напрямках буде особливо помітною тоді, коли пристрої територіально розміщені на знаній площі та на великій відстані від оператора.

Характеристика задач, які можна вирішити за допомогою RPA в IoT. Рішення типових проблем в інтернеті речей, таких як масштабованість (велика кількість пристроїв, надійне покриття), проблеми з енергоспоживанням (отримання енергії та оптимізація апаратного/програмного забезпечення) також можуть отримати вигоду від знання таких планів і цілей. Такі знання можуть оптимізувати компроміси під час проектування, пов'язані з переміщенням хмарних сервісів на край мережі (так звані хмарні обчислення, тобто визначення правильного розподілу місць зберігання та оброблення даних і сервісів).

Управління процесами є дисципліною, яка здійснює ідентифікацію, відкриття, аналіз, проектування та перепроєктування, реалізацію, виконання, моніторинг та еволюцію бізнес-процесів [4].

Бізнес-процес – це сукупність пов'язаних подій, дій і рішень, які залучають низку суб'єктів і ресурсів і спільно приводять до позитивного результату для організації чи клієнта. Для підтримки бізнес-процесів на операційному рівні використовують засоби RPA. На відміну від інформаційних систем, орієнтованих на дані або функції, СУРП відокремлює логіку процесу від коду програми і так забезпечує додатковий архітектурний рівень. Зазвичай, СУРП надає загальні послуги, потрібні для операційної підтримки бізнес-процесів за допомогою ПЗ, тобто для моделювання процесу, його виконання, моніторингу та взаємодії з користувачем (наприклад, керування списком робочих завдань). Під час використання СУРП програмні бізнес-процеси розробляються за принципом "згори вниз", тобто логіка процесу явно описується в термінах моделі, що забезпечує схему для виконання процесу. СУРП відповідає за створення екземплярів нових процесів, за контроль їх виконання на підставі моделі процесу та їх завершення. Перебіг функціонування екземпляра процесу зазвичай відстежується, а сліди виконання зберігаються в журналі подій і можуть використовуватися для інтелектуального аналізу процесу [1], наприклад, для виявлення моделі процесу з журналу подій або для перевірки відповідності журналу із заданою моделлю процесу.

З появою інтернету речей наявна парадигма моделювання процесів зміщується у діаметрально протилежний напрямок. Такий новий підхід можна охарактеризувати як підхід "знизу вгору", коли дані генеруються фізичними пристроями, які сприймають своє оточення та створюють необроблені події. Дані давачів агрегуються та інтерпретуються, щоб виявити активності, які можна використовувати як вхідні дані для алгоритмів перепроєктування процесів, допомагаючи прийняти відповідні рішення.

Зважаючи на виклики, які постають під час проектування систем інтернету речей та можливості засобів RPA, можна запропонувати такі напрями їх потенційного застосування:

Збір та оброблення даних. Автоматизація процесу збирання даних з під'єднаних пристроїв інтернету речей, таких як давачі температури, вологості, руху тощо. Роботи-процеси можуть автоматично зчитувати ці дані, аналізувати їх і виконувати потрібні дії на підставі цієї інформації.

Моніторинг та управління обладнанням. Роботи-процеси можуть контролювати стан пристроїв, виявляти помилки або несправності, ініціювати потрібні дії для виправлення проблем.

Автоматизація рутинних операцій. Роботи-процеси можуть автоматично налаштовувати пристрої, виконувати регулярне оновлення програмного забезпечення або здійснювати резервне копіювання даних.

Оптимізація енергоспоживання. Для оптимізації енергоспоживання в системах інтернет речей, роботи-процеси можуть аналізувати дані про споживання енергії та автоматично виконувати дії, цим самим забезпечуючи оптимальне використання ресурсів.

Автоматизоване оброблення відхилень та помилок. Засоби RPA можуть бути використані для автоматизо-

ваного оцінювання даних, що надходять від кінцевих пристроїв на предмет аномалій. У разі інтеграції штучного інтелекту у такий процес і його імплементації на таких пристроях як шлюз капілярної мережі, можна виконати попереднє оброблення даних. Це позитивно вплине як на обсяг даних, що передаються, так і на коректність прийняття рішень у центральних вузлах системи.

Інтеграція та обмін даними. Засоби RPA можуть бути використані для автоматизації процесів інтеграції та обміну даними між різними системами інтернету речей. Роботи-процеси можуть автоматично синхронізувати дані з різних джерел, забезпечуючи їх надійність та актуальність [13].

Аналітика та звітність. Роботи-процеси можуть агрегувати та аналізувати дані з різних джерел, генерувати звіти та візуалізації для прийняття рішень та моніторингу діяльності.

Забезпечення безпеки та контролю. Роботи-процеси можуть виявляти потенційні загрози, реагувати на них і вживати заходів для убезпечення мережі інтернету речей.

Приклади використання RPA в системах інтернету речей. RPA, що загалом є системою автоматизованого управління процесами, вже зарекомендувала себе як засіб автоматизації процесів, пов'язаних з під'єднанням нових пристроїв інтернету речей до наявної інфраструктури (рис. 2). Ці завдання охоплюють такі активності як реєстрація пристрою, призначення унікальних ідентифікаторів, налаштування під'єднання до мережі та налаштування параметрів пристрою. Готові рішення уже представлені на ринку і їх кількість збільшується. Серед найбільш яскравих представників можна виділити рішення від таких компаній, як Azure IoT Hub, AWS IoT Device Management, Hologram, 2 smart, Friendly One-IoT, Help Wire тощо [15].

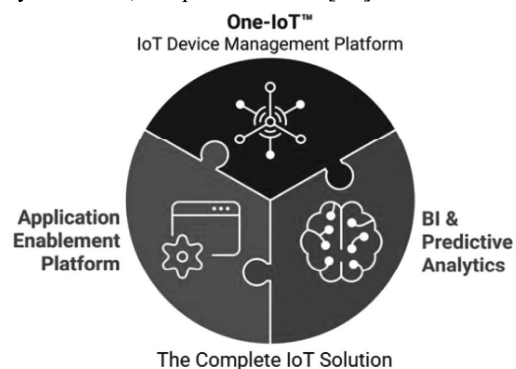


Рис. 2. Сфери використання RPA в системах інтернету речей / Areas of RPA use in Internet of Things systems

Іншим прикладом використання RPA у сфері інтернету речей є прогнозування технічного обслуговування. У цьому рішенні система RPA аналізує історичні дані, виявляє закономірності і прогнозує потенційні збої обладнання або потреби в техобслуговуванні. Система створює графіки технічного обслуговування, запускає процеси робочих замовлень, щоб забезпечити профілактичні дії з технічного обслуговування, оптимізуючи продуктивність обладнання та скорочуючи час незапланованих простоїв.

На рис. 3 показано приклад такої автоматизації за допомогою програмного продукту від компанії XMPRO, яка спеціалізується на цифровізації складних операційних процесів, зокрема працює з концепцією цифрового двійника [14].

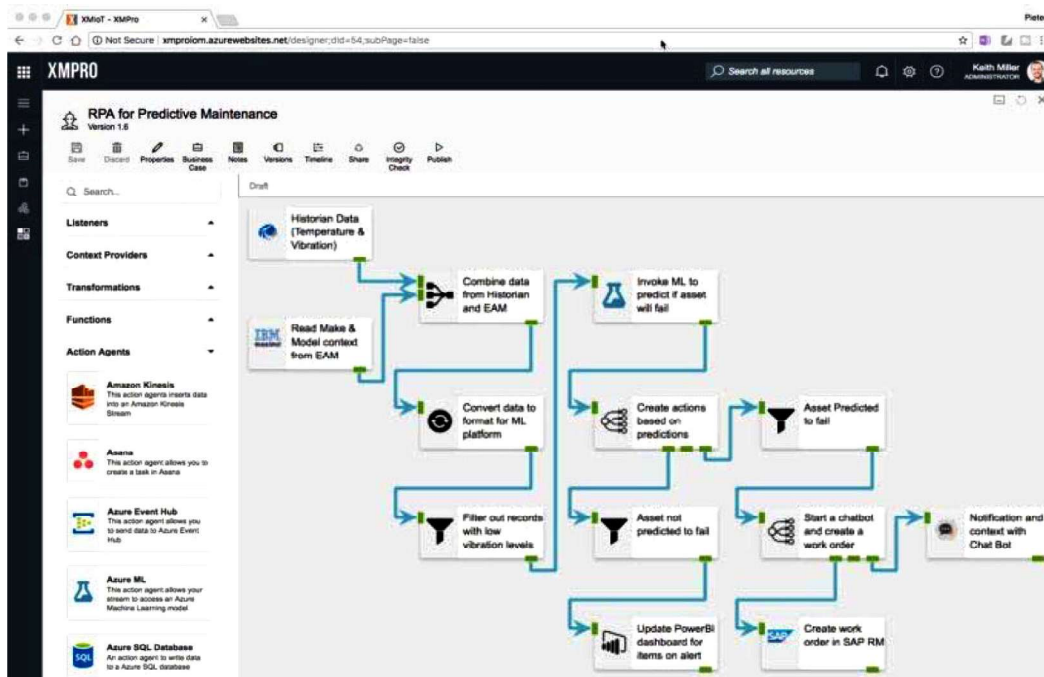


Рис. 3. Приклад автоматизації за допомогою продукту компанії XMPRO / An example of automation using the XMPRO product

Аналіз переваг та недоліків використання RPA в IoT. Основними перевагами використання засобів RPA є зменшення ручної праці та автоматизація рутинних процесів, що приводить до підвищення продуктивності. Завдяки автоматичному виконанню завдань, співробітники можуть зосередитись на важливіших задачах. Окрім цього, автоматизація процесів у системах інтернету речей за допомогою RPA дає змогу знизити витрати на робочу силу та покращити ефективність виконання завдань. Це може привести до значних економічних переваг для організацій. Уникнення людських помилок допомагає забезпечити надійність та якість виконання процесів, що є ще однією перевагою засобів RPA, оскільки вони забезпечують виконання завдань з високою точністю дотримання встановлених протоколів дій [12].

Окрім цього, засоби RPA дають змогу виконувати процеси швидко та в режимі реального часу. Це особливо важливо в контексті інтернету речей, де потрібне вчасне реагування на дані та події без затримок. Постійне зростання кількості кінцевих пристроїв інтернету речей, проблеми з тривалими затримками під час оброблення даних стають істотно помітними [17]. З огляду на це, щораз частіше постає питання розподілу обчислень між хмарною частиною інфраструктури і частиною хмарних обчислень. Прийняті рішення на підставі RPA можуть і мають бути використані для дослідження цих питань. Їх радять розгортати на вузлах капілярних мереж.

Удосконалення керованості можна також зарахувати до переваг RPA засобів, оскільки це дає змогу створити централізовану систему керування та моніторингу пристроїв і процесів інтернету речей, спрощує управління та контроль за системою та дає змогу оперативно реагувати на відхилення та проблеми.

Недоліком систем, побудованих з допомогою засобів RPA, є передусім обмежена складність завдань. Підхід RPA базується на програмуваних правилах і шаблонах, що робить його обмеженим у вирішенні складних або контекстуально залежних сценаріїв. Враховуючи різноманітність джерел даних і сценаріїв у системах ін-

тернету речей, розроблення та налаштування роботів-процесів може потребувати значних зусиль. У системах інтернету речей, де сценарії та умови можуть змінюватися досить швидко, можуть виникати труднощі у використанні RPA для оцінювання нових ситуацій та адаптації до них.

Засоби RPA ефективно працюють із стандартизованими процесами та інтерфейсами. Однак у системах інтернету речей, де різні пристрої та платформи можуть використовувати різні протоколи та формати даних, можуть виникати проблеми з інтеграцією та взаємодією між різноманітними пристроями.

Залежність від стабільності мережі також є недоліком подібних систем, оскільки засоби RPA потребують стабільного з'єднання з мережею для комунікації з пристроями IoT. Проблеми зі з'єднанням або нестабільна мережа можуть призвести до втрати зв'язку з пристроями або несправності в автоматизованих процесах.

Також варто зауважити, що система RPA може стати потенційною точкою вразливості для безпеки IoT-системи. Помилки у конфігурації роботів-процесів або недостатня увага, приділена питанням захисту інформації можуть призвести до несанкціонованого доступу до системи, витоку даних або зловживання.

Вартість і складність впровадження IoT-системи з використанням RPA також можна віднести до недоліків, оскільки це може бути витратним і складним процесом. Тут потрібно підготовлений персонал, розроблення та налагодження роботів, інтеграція з наявною інфраструктурою та врахування специфіки IoT-систем.

Перспективи використання RPA у системах інтернету речей. Поєднання RPA та IoT дасть змогу підприємствам розробляти складніші та ефективніші рішення автоматизації. Інтеграція технологій сприятиме створенню автоматизованих рішень, а отже, зможе керувати складними завданнями, такими як обслуговування клієнтів, аналіз даних і управління логістикою. На підставі виконаного аналізу можна виокремити такі процеси для автоматизації в системах інтернету речей.

Автоматизація розгортання інфраструктури. Посилення вимог та покладання на системи IoT щораз

ширших обов'язків призводить до істотного ускладнення цих систем, залучення до їх складу більшої кількості компонентів різноманітного призначення. Наприклад, залучення функціоналу машинного навчання дуже істотно впливає на збільшення вимог до обчислювальної здатності відповідних модулів системи. Це водночас призводить до збільшення кількості вузлів системи, що необхідно розгорнути для забезпечення необхідної потужності. Окрім цього, реальні сценарії розгортання інфраструктури часто обтяжені політиками регуляції питань, пов'язаних зі зберіганням і обробленням даних, згенерованих на певній території.

Автоматизація попереднього оброблення даних від кінцевих пристроїв на рівні капілярної мережі. Оскільки хмарні обчислення значно поширилися за останні роки, у системах інтернету речей цей підхід стикається з новими викликами. Йдеться про стрімке посилення вимог до обчислювальної потужності хмарних центрів через зростання як кількості кінцевих пристроїв, так і підвищення інтелектуальної складової їх функціонування. При цьому додаткового навантаження зазнають канали передачі даних, що накладає обмеження на втілення такого важливого аспекту побудови систем інтернету речей, як масштабованість, оскільки перенавантаження наявних каналів зв'язку спричинює потребу побудови додаткових, що не завжди є можливим [3]. На рис. 4 схематично зображено інфраструктуру системи IoT, котра складається з таких вузлів, як CGW (Capillary GateWay) шлюз, MD (англ. *Machine Device* або *Constrained Device*) кінцевий пристрій та інші. Капілярним доменом, або капілярним сегментом системи, або капілярною мережею називають мережу, що поєднує кінцеві пристрої системи зі шлюзами, хабами, маршрутизаторами й іншими варіантами пристроїв, що відповідають за обмін даними з кінцевими пристроями та водночас забезпечують зв'язок капілярних сегментів з хмарним сегментом мережі системи IoT.

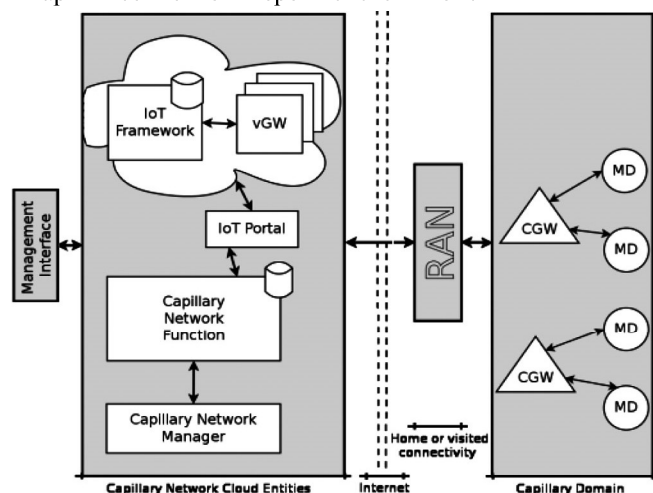


Рис. 4. Інфраструктура системи IoT на підставі капілярної мережі / The infrastructure of the IoT system is based on a capillary network

Автоматизація процесів тестування інфраструктури в промисловому інтернеті речей. Запорукою надійності будь-якої системи є перевірка коректності її функціонування шляхом виконання тестування. Стандарне тестування потребує багато часу та людських ресурсів, тому дедалі частіше застосовуються принципи автоматизації тестування. На сьогодні доступними є комерційні засоби для автоматизації тестування аплікацій

в системах інтернету речей [17]. Такий підхід має беззаперечні переваги перед ручним режимом тестування. Однак для використання таких засобів, виконавці мають бути досвідченими розробниками програмного забезпечення тоді як засоби RPA дають змогу виконувати ті самі завдання менш підготовленим персоналом і в набагато коротші терміни, оскільки відповідають усім критеріям платформи автоматичного тестування.

Обговорення результатів дослідження. Питання автоматизації процесів у системах інтернету речей на сьогодні є малодослідженим. Основним напрямом досліджень була автоматизація бізнес-процесів на підставі технології RPA [2, 6, 11]. Тому доцільно проаналізувати типову архітектуру систем інтернету речей та визначити відповідність процесів та архітектурних рівнів IoT [7] та окреслити низку завдань, виконання яких можна автоматизувати. Зважаючи на виклики, які постають під час проектування систем інтернету речей та на можливості технології RPA визначено, що потенційними напрямками автоматизації є збір та оброблення даних, моніторинг та управління обладнанням, інтеграція та обмін даними, забезпечення безпеки та контролю, автоматизоване оброблення відхилень та помилок, оптимізація енергоспоживання, аналітика та звітність. У роботах [5, 9] наведено рішення автоматизації процесів моніторингу та управління обладнанням з використанням технології RPA, що дає змогу зробити висновок про ефективність таких рішень. На підставі аналізу переваг і недоліків використання RPA в IoT встановлено низку недоліків, які обмежують сфери застосування RPA. Основною причиною таких обмежень є різноманітність джерел даних і сценаріїв у системах інтернету речей, що ускладнює завдання, поставлені перед RPA. Окрім цього, відсутність стандартизації процесів і протоколів у системах інтернету речей робить неможливим використання RPA для їх автоматизації.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – набула подальшого розвитку концепція використання технології RPA для автоматизації процесів у системах інтернету речей.

Практична значущість результатів дослідження – поєднання RPA та IoT дасть змогу підприємствам розробляти складніші та ефективніші рішення автоматизації, а отже, керувати складними завданнями, такими як моніторинг та управління обладнанням, аналіз і оброблення даних, управління логістикою, обслуговування клієнтів.

Висновок / Conclusions

Актуальним напрямом наукових досліджень у галузі інформаційних технологій є автоматизація процесів у системах інтернету речей. У роботі проведено аналіз ефективності використання технології RPA для реалізації завдань автоматизації процесів в системах інтернету речей. Подане рішення поєднання RPA та IoT дасть змогу компаніям розробляти та впроваджувати складніші та ефективніші рішення автоматизації, а отже, підвищити продуктивність та ефективність виробництва чи бізнес-процесів та конкурентоспроможність.

1. Проаналізовано основні концепції та технології автоматизації процесів із застосуванням роботизації та визна-

чено перспективи застосування RPA у системах інтернету речей.

2. Проаналізовано основні переваги та недоліки використання роботизованої автоматизації процесів в IoT. Встановлено низку недоліків, які обмежують області застосування RPA. Встановлено, що основною причиною таких обмежень є різноманітність джерел даних і сценаріїв, а також відсутність стандартизації процесів і протоколів у системах інтернету речей, що ускладнює завдання, поставлені перед RPA, а іноді робить неможливим використання RPA для їх автоматизації.
3. Подано та проведено аналіз основних задач автоматизації, які можна вирішити за допомогою RPA в системах інтернету речей та визначено основні напрями такої інтеграції. Встановлено, що роботизовані системи автоматизації дають змогу істотно пришвидшити імплементацію рішень для автоматичного управління процесами у системах IoT з автоматизації розгортання інфраструктури та автоматизації процесів тестування інфраструктури в промисловому інтернеті речей.

References

1. Aalst, van der, W. M. P. (2011). *Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19345-3>
2. Aguirre, S., & Rodríguez, A. (2017). Automation of a business process using robotic process automation (RPA): A case study. In: J. C. Figueroa-García, E. R., López-Santana, J. L., & Villa-Ramírez, & R. Ferro-Escobar (Eds.). *Communications in computer and information science*. Vol. 742, 65–71. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2_7
3. Chegini, H., Naha, R. K., Mahanti, A., & Thulasiraman, P. (2021). Process automation in an IoT – Fog – Cloud ecosystem: A survey and taxonomy. *IoT*, 2(1), 92–118. <https://doi.org/10.3390/iot2010006>
4. Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). *Fundamentals of business process management*. (2nd ed.) Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4>
5. Georgios, L., Kerstin, S., & Theofylaktos, A. (2019). *Internet of things in the context of industry 4.0: An overview*. <https://doi.org/10.2478/IJEK-2019-0001>
6. Jovanović, S. Z., Đurić, J. S., & Šibalića, T. V. (2018). Robotic process automation: overview and opportunities. *International Journal Advanced Quality*, 46(3-4), 34–39
7. Korostil, M. I., & Lahun, I. I. (2022). Avtomatyzatsiia protsesiv u systemakh internetu rechei. *Innovatsiini Tekhnologii u Rozvytku Suchasnoho Suspilstva: Tezy Dopovidei IV Mizhnarodnoi Naukovo-Praktychnoi Konferentsii*, 16–19. [In Ukrainian].
8. Li, F., Vögler, M., Claeßens, M., & Dustdar, S. (2013). Towards automated IoT application deployment by a cloud-based approach. In *2013 6th international conference on service-oriented computing and applications*, 61–68. <https://doi.org/10.1109/SO-CA.2013.12>
9. Madakam, S., & Uchiya, T. (2019). Industrial internet of things (IIoT): principles, processes and protocols. *The Internet of Things in the Industrial Sector: Security and Device Connectivity, Smart Environments, and Industry*, 4.0, 35–53. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24892-5_2
10. Nakonechnyi, A. Y., & Veres, Z. Y. (2016). Internet rechei i suchasni tekhnologii. *Visnyk Natsionalnoho Universytetu "Lvivska Politekhnik"*. *Avtomatyka, Vymiriuvannia ta Keruvannia*, 852, 3–9. [In Ukrainian].
11. Osman, C. C. (2019). Robotic Process Automation: Lessons Learned from Case Studies. *Informatica Economica*, 23(4). <https://doi.org/10.12948/issn14531305/23.4.2019.06>
12. Ostdick, N. (2016). The Evolution of Robotic Process Automation (RPA): Past, Present, and Future. Retrieved from UiPath. URL: <https://www.uipath.com/blog/rpa/the-evolution-of-rpa-past-present-and-future>
13. Radke, A. M., Dang, M. T., & Tan, A. (2020). Using robotic process automation (RPA) to enhance item master data maintenance process. *LogForum*, 16(1). <https://doi.org/10.17270/ILOG.2020.380>
14. Schalkwyk, P., van (n.d.). XMPRO Intelligent Digital Twins. XMPRO. URL: <https://www.uipath.com/blog/rpa/the-evolution-of-rpa-past-present-and-future>
15. Shock, S. (2023). Best IoT Device Management Platforms: A Comprehensive Comparison. Novotech. URL: <https://novotech.com/learn/m2m-blog/blog/2023/07/26/best-iiot-device-management-platforms-a-comprehensive-comparison/>
16. Tripathi, A. M. (2018). *Learning Robotic Process Automation: Create Software robots and automate business processes with the leading RPA tool – UiPath*. Packt Publishing Ltd.
17. Varghese, N., & Sinha, R. (2020). Can commercial testing automation tools work for iot? A case study of selenium and node-red. In: *IECON 2020 The 46th Annual Conference of the Industrial Electronics Society*, 4519–4524. <https://doi.org/10.1109/IECON43393.2020.9254910>

M. I. Korostil, I. I. Lahun

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING RPA TECHNOLOGY FOR AUTOMATION OF PROCESSES IN INTERNET OF THINGS SYSTEMS

The main concepts and technologies of process automation using Robotic Process Automation (RPA) have been analyzed. Perspectives on applying RPA in Internet of Things (IoT) systems have been identified. It has been established that the rapid development of IoT necessitates clear protocols and approaches for executing processes in automatic mode with minimal human intervention. The main processes of typical IoT systems have been analyzed, and their correspondence to architectural levels of IoT systems has been determined. It has been concluded that robotic process automation significantly accelerates the implementation of solutions for automatic control of data collection, management, and processing in IoT systems. Special attention is required for addressing the automation of device configuration processes, software updates, diagnostic procedures, and monitoring of IoT devices, as the proper functioning of physical IoT devices directly affects the entire systems performance. The main tasks that can be solved through robotic process automation in IoT systems have been analyzed. The following key directions have been identified: data collection and processing, equipment monitoring and management, automation of routine operations, energy consumption optimization, automated handling of deviations and errors, data integration and exchange, analytics, and reporting, ensuring security and network control in IoT. Examples of RPA usage in IoT systems covering areas such as business analytics, IoT device management, and software product support have been provided. An analysis of the main advantages and disadvantages of using robotic process automation in IoT has been carried out. It has been determined that the main advantages of using RPA tools are real-time process execution and improved process controllability, while the main disadvantages include the need for standardized processes and interfaces, as well as stable network connectivity, which are common challenges in IoT systems. Further research directions in the field of automation of infrastructure deployment, pre-processing of data from end devices at the capillary network level, and infrastructure testing in the industrial IoT have been defined and outlined.

Keywords: automation; processes; internet of things; industrial internet of things; robotic automation systems; Robotic Process Automation; Internet of Things; Internet of Things systems.